

文章编号:1000-582X(2010)03-082-05

不同瓦斯压力条件下的煤与瓦斯突出模拟实验

王维忠¹,陶云奇^{1,2},许江¹,彭守建¹

(1. 重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室,重庆 400044;

2. 河南省煤层气开发利用有限公司,河南 郑州 450016)

摘要:为探讨瓦斯压力在煤与瓦斯突出过程中的作用机制,利用自主研发的煤与瓦斯突出模拟试验台和同一种煤样,在煤样成型压力、煤样含水率、受力状况等参数均恒定的情况下,分别进行了5种不同瓦斯压力水平下的煤与瓦斯突出模拟实验。结果表明,煤与瓦斯突出可形成口小腹大的呈梨形或椭圆形的突出孔洞,且突出孔洞容积仅为突出煤体积的1/2~2/3;在瓦斯压力方面存在一个使煤与瓦斯突出发生与否的阈值,高于此阈值时,瓦斯压力愈大则突出强度亦愈大,且瓦斯压力作为突出发生的动力同时也对突出煤粉有一定的粉碎和抛出作用;煤样温度呈先升高后降低并连续变化的趋势,利用温度变化梯度可进行煤与瓦斯突出预测预报。

关键词:煤矿;煤与瓦斯突出;瓦斯压力;温度

中图分类号:TD713

文献标志码:A

Simulation of coal and gas outburst with different gas pressure

WANG Wei-zhong¹, TAO Yun-qi^{1,2}, XU Jiang¹, PENG Shou-jian¹

(1. Key Laboratory for the Exploitation of Southwest Resources and Environmental Disaster

Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;

2. Henan Provincial Coal Seam Gas development and Utilization CO., LTD, Zhengzhou 450016, Henan, P. R. China)

Abstract: To discuss the mechanism of gas pressure in coal and gas outburst process, with the constant of moulding pressure, moisture and forced status of the outburst coal sample, five outburst experiments of the different gas pressure are simulated by the independently developed coal and gas outburst simulation test device and the same coal sample. It is found that coal and gas outburst could produce pyriform or elliptic holes with small mouth and big belly. And the volume of hole to the volume of outburst coal is from 1/2 to 2/3. Moreover, there is a threshold value of gas pressure for coal and gas outburst and greater with the increase of outburst intensity. As the force of outburst, the gas pressure has a certain effect of ejection and porphyritization on the outburst coal powders. The coal sample temperature varies continuously with the trend of rising firstly and decreasing subsequently. And the grads of coal temperature can be adopted for predicting the coal and gas outburst.

Key words: coal mines; coal and gas outburst; gas pressure; temperature

煤与瓦斯突出是发生在煤矿井下的一种极其复杂的动力失稳现象^[1-3],是煤矿井下生产最严重的

灾害之一,可造成煤岩击中或掩埋井下人员、摧毁井下设施等事故,甚至摧毁整个工作面或矿井,负面影

收稿日期:2009-11-10

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50534080);重庆市科技攻关计划重大项目(CSCT,2006AA7002)

作者简介:王维忠(1955-),男,四川岳池人,高级实验师,主要从事采矿工程与安全工程试验方面的研究,
(E-mail) wwzhong133@126.com。

响极为恶劣。因对现场煤与瓦斯突出过程进行全方位实时跟踪研究危险性太大的缘故,学者们^[4-5]目前主要依靠实验室相似模拟实验手段进行煤与瓦斯突出机制的研究与探索。

煤与瓦斯突出机理中的“综合作用假说”因全面考虑了地应力、瓦斯和煤的物理力学性质等因素而被广泛认可,但地应力、瓦斯和煤的物理力学性质等因素各自在突出过程中的真正作用机制并不十分明晰^[6-10]。基于此,笔者拟利用自主研发的煤与瓦斯突出模拟试验台^[11],进行不同瓦斯压力条件下的煤与瓦斯突出模拟实验,以探讨瓦斯压力在煤与瓦斯突出中的作用机制,并同时分析煤与瓦斯突出强度、突出空洞形态及其温度在突出过程中的变化规律。

1 突出模拟实验系统

1.1 模拟试验台简介

自主研发的煤与瓦斯突出模拟试验台主要由煤与瓦斯突出模具、快速释放机构、承载框架、电流伺服加载系统、翻转机构、主机支架、煤样成型装置、附属装置等组成,可模拟不同成型压力、不同荷载大小、不同荷载形式(均分布和阶梯形 2 种)、不同瓦斯压力和不同突出口径等条件下的突出情况。该模拟试验台整体结构和突出模具分别如图 1、2 所示。



图 1 煤与瓦斯突出模拟试验台

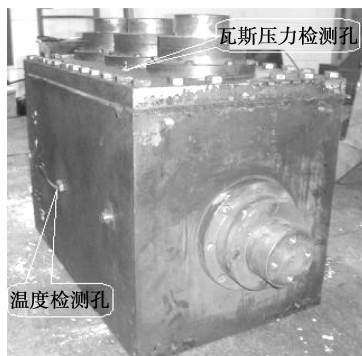


图 2 煤与瓦斯突出模具实物图

1.2 实验方法

开展煤与瓦斯突出模拟实验时涉及的环节多而复杂,实验工序主要包括粉煤与筛煤、含水率与煤粒配比、煤样成型、模具安装、模具吊装、侧封梁吊装、突出口密封、煤样充气与吸附、完成突出、数据采集 10 个工序。整个实验流程如图 3 所示。

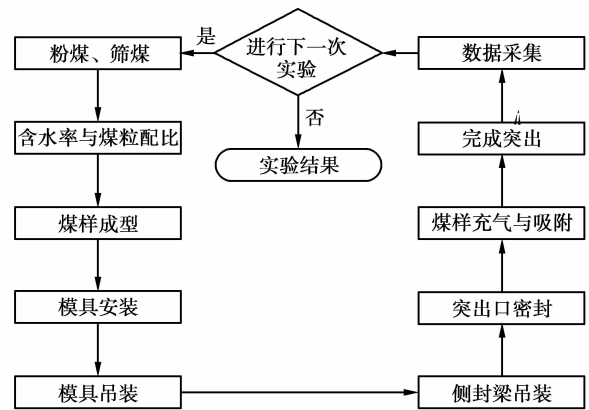


图 3 煤与瓦斯突出实验流程图

2 突出模拟实验概况

为探讨石门揭煤时,煤层内部原始瓦斯压力大小对煤与瓦斯突出的影响,在成型压力为 4.00 MPa、煤样含水率为 4.0%、煤试件所受垂直应力和水平应力分别为 4.00、2.40 MPa 的实验条件下,分别进行了 5 种不同瓦斯压力水平下的煤与瓦斯突出实验。5 次实验所用煤样均取自重庆能源投资集团松藻煤电公司打通一矿 8# 煤层。表 1 给出了这 5 次突出实验的具体实验参数,表 2 为这 5 次突出模拟实验在其突出前后煤样的粒径分布。图 4 给出了在瓦斯压力分别为 0.75、1.50 MPa 下发生突出后用石膏拓取的突出空洞形态,图 5 给出了在瓦斯压力 1.00 MPa 下突出实验过程中煤样温度随时间的变化曲线。为方便分析突出强度的大小,在表 1 中还定义了绝对突出强度和相对突出强度 2 个参数(绝对突出强度是指突出煤样的总质量,相对突出强度是指突出煤样质量占本次实验用煤总质量的百分比)。

3 突出模拟实验结果分析

根据所开展的 5 种不同瓦斯压力水平下的煤与瓦斯突出模拟实验,并结合表 1、2 和图 4、5 进行综合分析后得出以下结论。

1)每次突出发生后,在煤样内部均能形成一个口小腔大的突出空腔,腔体四周煤壁稳定而完整,采用石膏拓取孔洞模型后发现其形状呈梨形或椭圆形(图4),与现场突出孔洞有一定的相似性^[12]。除此之外还发现突出区域附近煤层存在有大量裂隙,且

强度较低,而远离突出区域的煤层则较坚硬,表明在突出过程中,突出区域附近的煤层产生了一定的变形与位移,并导致突出孔洞容积与突出煤的体积相比仅为其1/2~2/3。

表1 不同瓦斯压力条件下的煤与瓦斯突出模拟实验参数

实验编号	突出口径/mm	开口形状	突出口面积/mm ²	瓦斯压力/MPa	煤样总质量/kg	绝对突出强度/kg	相对突出强度/%	突出情况
1	60	圆形	2 827.4	0.50	90.703	—	—	无突出
2	60	半圆形	1 413.7	0.75	89.277	4.387	4.91	突出
3	60	圆形	2 827.4	1.00	90.703	17.332	19.11	突出
4	60	半圆形	1 413.7	1.25	91.550	8.226	8.99	突出
5	60	圆形	2 827.4	1.50	90.654	21.846	24.10	突出

注:实验所用煤样粒径的目数为一次粉碎原始配比。

表2 突出煤样粒径分布

项 目	不同目数的粒径所占比例/%					
	≤10目	10~20目	20~40目	40~60目	60~80目	≥80目
煤样突出前原始粒径配比	22.23	5.25	26.82	19.04	8.90	17.76
第1次突出煤样	—	—	—	—	—	—
第2次突出煤样	16.97	4.38	27.97	21.23	9.15	20.29
第3次突出煤样	19.11	4.27	25.88	19.20	8.04	23.51
第4次突出煤样	16.13	4.69	27.94	19.87	9.81	21.56
第5次突出煤样	18.01	4.79	24.22	19.56	9.63	23.79

2)依据笔者设定的实验条件,在0.50~0.75 MPa存在一个煤与瓦斯突出现象发生与否的瓦斯压力阈值,若高于此阈值,在相同的突出口揭开面积下,瓦斯压力越大其突出强度亦越大。如考察第3、5次实验知,在突出口揭开面积均为2 827.4 mm²以下,当瓦斯压力从1.00 MPa升至1.50 MPa时,瓦斯压力增加50%,而绝对突出强度由17.332 kg增至21.846 kg,相对突出强度由19.11%增至24.10%,增幅为26.11%。

3)突出过程所爆发的能量和瓦斯压力对煤样均有粉碎作用,且瓦斯压力愈大粉碎效果愈明显,进而验证了综合作用假说中瓦斯压力不仅是突出发生的动力,而且还起着粉碎和抛出煤粉的作用。以第2、

4次突出实验为例,当瓦斯压力分别为0.75、1.25 MPa时,突出后小于20目的煤样粒径降幅分别为22.31%、24.24%,大于40目的煤样粒径涨幅分别为10.77%、12.12%。

4)实验表明,煤与瓦斯突出过程中,煤样温度呈先升高后降低并连续变化的趋势。在对煤样加压和充瓦斯气体过程中,因煤样颗粒间的摩擦和吸附瓦斯放热使煤样温度升高;而在突出发生时由于瓦斯气体膨胀做功和解吸瓦斯吸热使煤样温度降低^[13-15]。以瓦斯压力为1.00 MPa下的突出实验为例(图5),当突出煤样充气吸附瓦斯时间持续1 527 s时,煤体温度升高约2.9℃;突出发生解吸瓦斯216 s后温度约下降3.1℃。

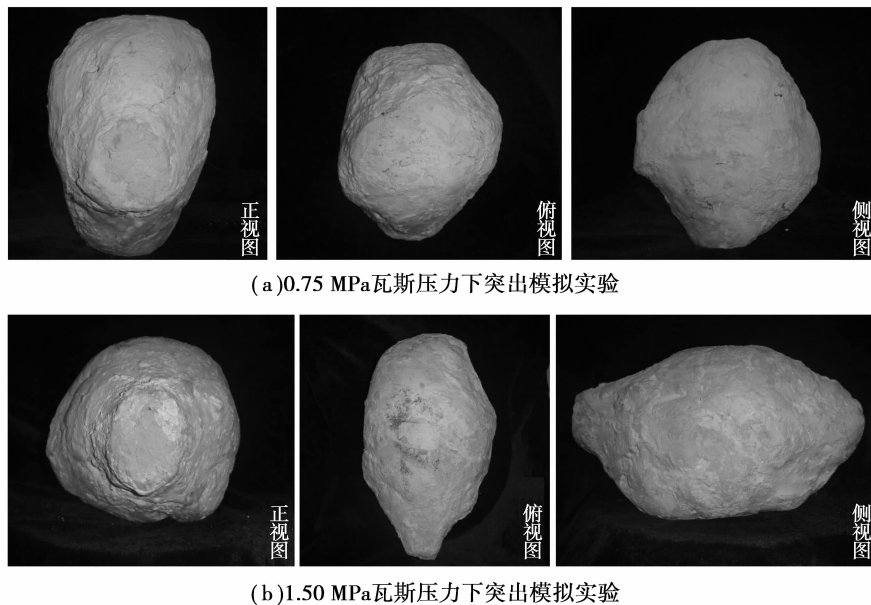


图4 模拟实验突出孔洞模型

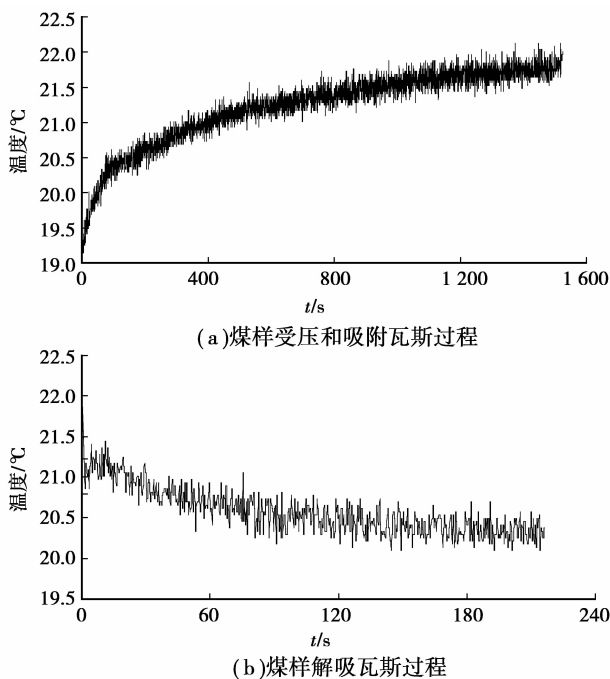


图5 突出实验瓦斯压力与温度变化曲线

4 结 论

利用自主研发的煤与瓦斯突出模拟试验台,在其他因素均恒定时开展了不同瓦斯压力条件下的煤与瓦斯突出模拟实验,分析了煤层内部原始瓦斯压力大小对煤与瓦斯突出的影响,并探讨了煤与瓦斯突出后的孔洞形态、突出强度及其温度在突出过程中的变化规律,主要结论如下:

1) 突出发生后形成有典型的口小腔大的呈梨形

或椭圆形的突出孔洞,并且发现在突出过程中,突出区域附近的煤层产生有一定的变形与位移,并导致突出孔洞容积仅为突出煤体积的 $1/2\sim 2/3$;

2) 突出实验研究表明,在 $0.50\sim 0.75$ MPa之间存在一个煤与瓦斯突出现象发生与否的瓦斯压力阈值,若高于此阈值,瓦斯压力愈大突出强度亦相应增大,瓦斯压力作为突出发生动力的同时亦起着粉碎和抛出煤粉的作用;

3) 在煤与瓦斯突出过程中,地应力和瓦斯吸附使煤体温度升高,而瓦斯气体膨胀做功和瓦斯解吸使煤体温度降低,煤样温度呈先升高后降低并连续变化的趋势,这为利用温度变化进行煤与瓦斯突出预测奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] HUDECEK V. Analysis of safety precautions for coal and gas outburst-hazardous strata [J]. Journal of Mining Science, 2008, 44(5): 464-472.
- [2] LI S, WANG Q J, LUAN Q L. Development of regional prediction information system of coal and gas outburst [J]. Journal of Coal Science and Engineering, 2006, 12(1): 79-81.
- [3] WU C F, QIN Y, ZHANG X L. Application of the third theory of quantification in coal and gas outburst forecast [J]. Journal of Coal Science and Engineering, 2004, 10(2): 60-65.
- [4] 栗原一雄. 瓦斯突出发生机构の解明た关する基础的研究[J]. 炭矿技术, 1980(1): 16-19.
KADSUO KURIHARA. Basic study on analyzing occurring mechanism of gas outburst [J]. Coal mine

- technology, 1980(1):16-19.
- [5] ALEXEEVA A D, REVVA V N, ALYSHEV N A, et al. True triaxial loading apparatus and its application to coal outburst prediction[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2004, 58(4):245-250.
- [6] LI S, ZHANG H W. Pattern recognition and forecast of coal and gas outburst [J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2005, 15(3):251-254.
- [7] CAO Y X, HE D D, GLICK D C. Coal and gas outburst in footwalls of reverse faults[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2001, 48(2):47-63.
- [8] DIAZ A, MARIA B, GONZALEZ N C. Control and prevention of gas outbursts in coal mines, Riosa-Olloniego coalfield, Spain [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2007, 69(4):253-266.
- [9] 刘保县, 鲜学福, 姜德义. 煤与瓦斯延期突出机理及其预测预报的研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2002, 21(5):647-650.
- LIU BAO-XIAN, XIAN XUE-FU, JIANG DE-YI. Research on the mechanism and prediction of delay outburst of coal and gas[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 21(5):647-650.
- [10] XU T, TANG C A, YANG T H, et al. Numerical investigation of coal and gas outbursts in underground collieries [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2006, 43(6):905-919.
- [11] 许江, 陶云奇, 尹光志, 等. 煤与瓦斯突出模拟试验台的研制与应用[J]. *岩石力学与工程学报*, 2008, 27(11):2354-2362.
- XU JIANG, TAO YUN-QI, YIN GUANG-ZHI, et al. Development and application of coal and gas outburst simulation test device [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(11):2354-2362.
- [12] 蒋承林. 煤壁突出孔洞的形成机理研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(2):225-228.
- JIANG CHENG-LIN. Study on forming mechanism of coal outburst hole [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(2):225-228.
- [13] 牛国庆, 颜爱华, 刘明举. 煤与瓦斯突出过程中温度变化的实验研究[J]. *西安科技学院学报*, 2003, 23(3):245-248.
- NIU GUO-QING, YAN AI-HUA, LIU MING-JU. Experimental study on temperature variation of coal and gas outburst[J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2003, 23(3):245-248.
- [14] 郭立稳, 俞启香, 蒋承林, 等. 煤与瓦斯突出过程中温度变化的实验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(3):366-368.
- GUO LI-WEN, YU QI-XIANG, JIANG CHENG-LIN, et al. Testing study on variation of coal temperature during the process of coal and gas outburst[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2000, 19(3):366-368.
- [15] 郭立稳, 俞启香, 王凯. 煤吸附瓦斯过程温度变化的试验研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2000, 29(3):287-289.
- GUO LI-WEN, YU QI-XIANG, WANG KAI. Experimental study on change in coal temperature during adsorbing gas[J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2000, 29(3):287-289.

(编辑 王维朗)

~~~~~

(上接第75页)

- [11] 刘杰, 谢定松, 崔亦昊. 江河大堤双层地基渗透破坏机理模型试验研究[J]. *水力学报*, 2008, 39(11):1211-1220.
- LIU JIE, XIE DING-SONG, CUI YI-CHEN. Failure mechanism of seepage in levees with double-layer foundation[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(11):1211-1220.
- [12] WANG H P, LI S C, ZHANG Q Y. Model test and numerical simulation of overload safety of forked tunnel [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2008, 29(9):2521-2526.
- [13] ZHU H H, YIN J H, ZHANG L, et al. Deformation monitoring of dam model test by optical fiber sensors [J]. *Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(6):1188-1194.
- [14] QU G, GUO X L, LONG C P, et al. Study on time scale distortion problem in sediment model test [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(11):1318-1323.
- [15] 范恩让, 史剑鹏. 尾矿堆积坝安全稳定性因素分析及对策[J]. *金属材料与冶金工程*, 2007, 35(1):33-36.
- FAN EN-RANG, SHI JIAN-PING. Analysis and countermeasures of the security stability factors for the tailings dams [J]. *Metal Materials and Metallurgy Engineering*, 2007, 35(1):33-36.
- [16] 中华人民共和国建设部. 选矿厂尾矿设计规范(ZBJ—90)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.

(编辑 王维朗)